



WPS Rec'd PCT/PTO 26 JUL 2006

**Prioritätsbescheinigung
DE 10 2004 063 549.8
über die Einreichung einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 063 549.8

Anmeldetag: 30. Dezember 2004

Anmelder/Inhaber: Minebea Co., Ltd., Nagano/JP

Bezeichnung: Piezoelektrische Antriebseinheit und Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen Antriebseinheit

Priorität: 28. Januar 2004 DE 10 2004 004 148.2

IPC: H 02 N 2/12

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 19. Mai 2006
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Hintermeier

A 9161
03/00
EDV-L

BEST AVAILABLE COPY

PATENTANWALT
DR.-ING. PETER RIEBLING
Dipl.-Ing.

EUROPEAN PATENT & TRADEMARK ATTORNEY

Postfach 3160
D-88113 Lindau (Bodensee)
Telefon (08382) 78025
Telefon (08382) 9692-0
Telefax (08382) 78027
Telefax (08382) 9692-30
E-mail: info@patent-riebling.de
www.patent-riebling.de

5

10

18190.8.2-P930-54

27. Dezember 2004

Anmelder: Minebea Co., Ltd.,
4106-73 Oaza Miyota, Miyota-machi,
Kitasaku-gun, Nagano-ken
Japan

15

20

**Piezoelektrische Antriebseinheit und Verfahren zur Erzeugung einer
vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen
Antriebseinheit**

25 Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine piezoelektrische Antriebseinheit und ein Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen Antriebseinheit. Die Antriebseinheit umfasst einen Stator einen Rotor und Antriebselemente in Form von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren.

30

Hausanschrift:
Rennle 10
D-88131 Lindau

Bankkonten:
HypoVereinsbank Lindau · Kto.-Nr. 1 257 110 (BLZ 600 202 90) · IBAN: DE80 6002 0290 0001 2571 10 · Swift (BIC): HYVEDEMM473
Volksbank Lindau · Kto.-Nr. 51 222 000 (BLZ 650 920 10) · IBAN: DE97 6509 2010 0051 2220 00 · Swift (BIC): GENODES1WAN
Postbank München · Kto.-Nr. 414 848-808 (BLZ 700 100 80) · IBAN: DE87 7001 0080 0414 8488 08 · Swift (BIC): PBNKDEFF
VAT-NR: DE 129020439 - Steuer-Nr.: 134/262/30288

Mündliche Vereinbarungen bedürfen der schriftlichen Bestätigung
Sprechzeit nach Vereinbarung

Stand der Technik

Piezoelektrische Aktoren oder Elemente ändern unter dem Einfluss einer veränderlichen elektrischen Spannung ihre Länge. Dadurch ist es möglich und

5 bekannt, in einem kinematischen System eine zwangsläufige Bewegung derart zu erreichen, dass die Translation oder Rotation eines Gliedes genutzt werden kann bis hin zur fortlaufenden Bewegung. Man spricht hier auch von einem sogenannten Wanderwellenantrieb, beschrieben z.B. in W. Schinköthe, M.

Hermann: „Aktorik in der Feinwerktechnik“, Teil 2, IKFF, Universität Stuttgart, 10 Ausgabe 4/1997. Der Wanderwellenantrieb ist eine besondere Form eines Ultraschallantriebes. Er nutzt die elliptische Oberflächenbewegung einer fortlaufenden resonanten Biegewelle. Ein derartiger Schwingungszustand kann unter bestimmten Anregungsbedingungen durch Überlagerung von Eigenformen in geometrisch geschlossenen Resonatoren erzeugt werden. Üblicherweise 15 werden dafür einfache geometrische Grundkörper wie Scheiben, Ringe oder hohle Zylinder verwendet. Die folgenden Ausführungen zeigen kurz die Entstehung von Wanderwellen, ohne auf das Problem der an die Geometrie geknüpften Eigenformen näher einzugehen. Zunächst soll die Gleichung einer stehenden Welle betrachtet werden.

20

$$y_1 = a \cdot \sin(k \cdot x) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Durch Addition einer zweiten stehenden Welle gleicher Amplitude, die sich durch eine zeitliche Phasenverschiebung Φ_0 und eine räumliche Phasenverschiebung

25 $k \cdot x_0$ unterscheidet, ergibt die resultierende Schwingung folgende Gleichung.

$$y = y_1 + y_2 = a \cdot \sin(k \cdot x) \cdot \sin(\omega \cdot t) + a \cdot \sin(k \cdot x + k \cdot x_0) \cdot \sin(\omega \cdot t + \Phi_0)$$

Trigonometrische Umformungen überführen die Ausgangsgleichung in die 30 folgende Form.

$$2y = y_1 + y_2 = a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) - a \cdot \cos(k \cdot x + \omega \cdot t)$$

$$+ a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t + k \cdot x_0 - \Phi_0) - a \cdot \cos(k \cdot x + \omega \cdot t + k \cdot x_0 + \Phi_0)$$

Für eine räumliche Phasenverschiebung von $x_0 = \lambda/4$ und eine zeitliche Phasenverschiebung von $\Phi_0 = T/4$ reduziert sich die Zahl der Wanderwellen auf
 5 die folgende Gleichung einer einzigen Wanderwelle.

$$y = a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Eine zeitliche Phasenverschiebung von $\Phi_0 = -T/4$ kehrt die Drehrichtung der
 10 Wanderwelle um. Für abweichende Werte der zeitlichen und räumlichen Phasenverschiebungen bleibt eine Überlagerung aus umlaufenden und stehenden Wellen.

Zwei stehende Biegewellen bilden die Voraussetzung für die Erzeugung einer
 15 Wanderwelle. Figur 7a (obere Zeichnung) zeigt ein Trägermaterial 29, an dem zwei piezoelektrische Elemente 30, 31 angeordnet sind. Eine stehende Biegewelle kann durch unterschiedliche Ausrichtung (Polarisation) der einzelnen Elemente 30, 31 und entsprechende Ansteuerung erreicht werden. Liegt an beiden Elementen 30, 31 die selbe Spannung U an, verlängern bzw. verkürzen sich die
 20 Elemente je nach ihrer Polarisation, wie es in Fig. 7b gezeigt ist, und das Trägermaterial 29 wird wellenartig verformt. Jedes Element 30, 31 erzeugt eine halbe Wellenlänge der entstehenden sinusförmigen stehenden Welle. Durch Umpolen der angelegten Spannung wird eine entgegengesetzte Biegewelle erzeugt.

25

Nach dem heutigen Stand der Technik werden Aktoren als piezoelektrische Biegewandler oder Translatoren einzeln, in Gruppen oder in Verbindung mit Wegveränderungssystemen für eine fortlaufende translatorische oder drehende Bewegung eines Antriebsgliedes selbst in Längs- oder
 30 Biegeschwingungen versetzt, um einen eigenen ausgewählten Punkt auf einer geschlossenen Bahn zu bewegen, die geeignet ist diese Bewegung durch Reibpaarung mit einem Abtriebsglied auf dieses zu übertragen. Dieses Prinzip

wird bei sogenannten Ultraschallmotoren eingesetzt. Andere Ausführungen bewirken durch Klemmen und Lösen eine Mitnahme, also auch durch Reibschluss. Durch eine ringförmige Anordnung von Aktoren und ihre periodische Ansteuerung kann eine Wanderwelle erzeugt werden, die auf
5 einen Rotor übertragen, diesen in Drehung um seine Rotationsachse versetzt. Eine solche rotierende Ausführung eines piezoelektrischen Motors ist zum Beispiel in der EP 449 048 B1 offenbart.

Die bekannten Lösungen besitzen unter anderem den Nachteil, dass hier eine
10 Bewegungsübertragung durch Reibschluss erfolgt. Dabei wird die Kraft- und Momentenübertragung durch die erforderliche Mindestvorspannung an der Paarungsstelle und den Reibbeiwert bestimmt. Ferner tritt ein unerwünschter Verschleiß an der Reibpaarungsstelle auf. Zur Sicherung der Funktion werden Piezomotoren mit Reibschluss an der Bewegungsübertragungsstelle mit hoher
15 Frequenz betrieben. Eine Drehzahlverstellung ist über die Frequenz dabei kaum möglich. Schließlich sind die übertragbaren Momente dieser Motoren insbesondere bei Biegeschwingern sehr gering.

Offenbarung der Erfindung

20

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine piezoelektrische Antriebseinheit zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegungen zu schaffen, bei der auf eine Bewegungsübertragung durch Reibschluss mit allen seinen Nachteilen verzichtet wird.

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Antriebseinheit gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 gelöst. Ein Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen Antriebseinheit ist im unabhängigen Patentanspruch 10 angegeben.

30

Bevorzugte Ausgestaltungen und weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Die Antriebseinheit umfasst erfindungsgemäß einen mit einem fluiden Medium gefüllten ringförmigen Spalt, der zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators und des Rotors ausgebildet ist, mehrere, an den Spalt

5 angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren, die bei elektrischer Anregung nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale Längenänderung in Richtung des Spaltes ausführen, derart, dass die abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf das fluide Medium übertragen wird, wobei
10 die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors umgesetzt wird.

Der Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die Bewegungsübertragung auf den Rotor nahezu verschleißfrei durch die dem fluiden Medium mittels der
15 piezoelektrischen Aktoren aufgeprägte hydrodynamische Energie erfolgt. In vorteilhafter Weise bietet sich ein derartiges Antriebskonzept bei Motoren an, deren Rotor mittels eines hydrodynamischen Lagersystem gelagert ist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die piezoelektrischen
20 Aktoren entlang des Umfangs des Spaltes in einer gemeinsamen Ebene angeordnet, wobei die Ebene vorzugsweise etwa senkrecht zur Rotationsachse verläuft.

Dabei sind die piezoelektrischen Aktoren segmentartig ausgebildet und an die
25 ringförmige Geometrie des Spaltes angepasst.

Zur besseren Übertragung der hydrodynamischen Energie des Fluids auf den Rotor weist ein Teil des Rotors vorzugsweise über seinen Umfang verteilt angeordnete, dem Spalt zugewandte und von dem fluiden Medium umströmte
30 rippenförmige Vorsprünge auf.

Die Lagerung des Rotors gegenüber dem Stator kann auf bekannte Weise mittels Wälzlagersystemen erfolgen.

- Vorteilhaft bietet es sich aber an, den Rotor mittels eines hydrodynamischen Lagersystems im Stator zu lagern. Auf diese Weise kann ein Teil des
- 5 Lagerspalts gleichzeitig als Spalt für das Antriebssystem verwendet werden. Das als Schmiermittel verwendete fluide Medium des hydrodynamischen Lagers dient dabei gleichzeitig als Antriebsmedium.

- Die Antriebseinheit kann vorteilhaft als Spindelmotor zum Antrieb der
- 10 Speicherplatten eines Festplattenlaufwerks ausgebildet sein.

- Nach den erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Kraftübertragung bei der beschriebenen piezoelektrischen Antriebseinheit nach dem hydrodynamischen Prinzip, wobei die von den piezoelektrischen Aktoren
- 15 abgegebene mechanische Energie in Strömungsenergie eines fluiden Mediums gewandelt wird, welche vom Rotor der Antriebseinheit wieder in mechanische Energie rücktransformiert wird.

- Die Drehzahl des Rotors bzw. das erreichbare Drehmoment ist unter anderem
- 20 abhängig von der Frequenz mit der die Aktoren angesteuert werden und dem Grad der Längenänderung (abhängig von der angelegten Spannung). Zur Beschreibung der Übertragungsfähigkeit von hydrodynamischen Antrieben dienen daher die Grundlagen der Strömungslehre. Betrachtet man den im Spalt umlaufenden Fluidstrom, so errechnet sich die darin enthaltene
- 25 Leistung aus der Größe des fließenden Massenstroms und aus der ihm aufgeprägten spezifischen Energie (Geschwindigkeit). Für die Strömung im Ringspalt lassen sich die Beziehungen aus den von Bernoulli erarbeiteten Grundlagen entwickeln.

- 30 Für eine bestmögliche Leistungsübertragung ist die Strömung im Spalt vorzugsweise quer zur Rotationsachse der Antriebseinheit gerichtet.

Es ist eine elektronische Steuerungseinrichtung vorgesehen, welche die piezoelektrischen Aktoren nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion elektrisch ansteuert; so dass sich im Lagerspalt eine gewünschte Strömung des fluiden Mediums einstellt.

- 5 Dabei werden in Bezug auf die Rotationsachse gegenüberliegende piezoelektrischen Aktoren vorzugsweise paarweise angesteuert.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend anhand von Zeichnungsfiguren näher erläutert.

10

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

- Figur 1 zeigt einen Längsschnitt durch eine als Spindelmotor ausgebildete, erfindungsgemäße Antriebseinheit;
- 15 Figur 2a zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer ersten Ansteuerungsphase;
- Figur 2b zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer zweiten
- 20 Ansteuerungsphase;
- Figur 2c zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer zweiten
- 25 Ansteuerungsphase;
- Figur 3 zeigt ein schematisches Diagramm des zeitlichen Verlaufs der an die piezoelektrischen Aktoren angelegten Steuerspannungen.
- Figur 4 zeigt ein Schema einer ringförmigen piezokeramischen Anordnung (entnommen aus Schinköthe et al).
- 30 Figur 5 zeigt eine Lagerhülse als Teil eines hydrodynamischen Gleitlagers zur Integration einer piezoelektrische Antriebseinheit.

Figuren 6 zeigen weitere mögliche Ausgestaltungen von piezokeramischen Anordnungen.

5 Figuren 7 zeigen eine piezokeramische Anordnung aufgebracht auf ein Trägermaterial im Ruhezustand und angeregtem Zustand (entnommen aus Schinköthe et al).

Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung

10 In Figur 1 ist eine als Spindelmotor ausgebildete erfindungsgemäße Antriebseinheit dargestellt, wie sie zum Beispiel zum Antrieb von Speicherplatten eines Festplattenlaufwerks eingesetzt werden kann. Die Antriebseinheit umfasst einen Stator in Form einer feststehenden Lagerhülse 1 mit einer axialen zylindrischen Bohrung, in welcher eine Welle 2 um eine
15 Rotationsachse 11 drehbar aufgenommen ist. Die Lagerhülse 1 selbst ist in einem Basisflansch 3 eingepresst. Zwischen dem Innendurchmesser der Lagerhülse 1 und dem geringfügig kleineren Außendurchmesser der Welle 2 ist mindestens ein hydrodynamischer Radiallagerbereich mit einem Lagerspalt 4 vorgesehen, der mit einem Schmiermittel, vorzugsweise einem fluiden Medium 10, gefüllt ist. Dieser
20 Radiallagerbereich ist in bekannter Weise durch ein Rillenmuster (nicht dargestellt) gekennzeichnet, das auf der Oberfläche der Welle 2 und/oder auf der Innenfläche der Lagerhülse 1 vorgesehen ist. Sobald die Welle 2 in Rotation versetzt wird, baut sich aufgrund des Rillenmusters ein hydrodynamischer Druck im Lagerspalt 4 bzw. im darin befindlichen fluiden Medium auf, so dass das Lager
25 tragfähig wird.

Ein durch eine mit der Welle 2 verbundene Druckplatte 5 und eine Abdeckplatte 6 gebildetes hydrodynamisches Drucklager am unteren Ende der Welle 2 sorgt für die axiale Positionierung der Welle 2 in Bezug auf die Lagerhülse 1 der
30 Lageranordnung und nimmt die axialen Kräfte auf. Dieser Axiallagerbereich wird durch die Abdeckplatte 5 luftdicht verschlossen, so dass kein Lagerfluid aus dem Lagerspalt 4 austreten kann, der sich als Lagerspalt 4' zwischen Druckplatte 5,

Lagerhülse 1 und Abdeckplatte 6 fortsetzt. Damit sich ein ausreichender hydrodynamischer Druck im Axiallager aufbaut, sind die einander zugewandten Oberflächen der Druckplatte 5 und/oder der Abdeckplatte 6 ebenfalls mit einem Rillenmuster (nicht dargestellt) versehen.

5

Das freie Ende der Welle 2 trägt eine Nabe 7, auf dem eine oder mehrere Speicherplatten (nicht dargestellt) des Festplattenlaufwerks angeordnet und befestigt sind.

- 10 Als Antriebselemente werden erfindungsgemäß mehrere piezoelektrische Aktoren (allgemein mit Ziffer 8 bezeichnet) verwendet. Im dargestellten Beispiel sind sechs Aktoren 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, und 8f vorgesehen. Es können aber auch mehr oder weniger als sechs Aktoren vorgesehen sein. Die piezoelektrischen Aktoren 8a-8f sind segmentartig ausgebildet und in einem
- 15 Zwischenraum zwischen der Lagerhülse 1 und der Abdeckplatte 6 ringförmig um die Druckplatte 5 angeordnet, wobei sich der mit dem fluiden Medium 10 gefüllte Lagerspalt 4' des hydrodynamischen Lagers zwischen den Aktoren 8 und der Druckplatte 5 fortsetzt.

- 20 Die Aktoren 8 sind derart ausgebildet, dass sie bei Anlegen einer elektrischen Spannung eine bezüglich der Rotationsachse 11 radiale Längenänderung ausführen, das heißt dass sich die Strecke zwischen dem Außen- und Innendurchmesser der Aktoren 8 ändert. Da zumindest Teile der Außenflächen der Aktoren 8 vorzugsweise fest an der radial innenliegenden
- 25 Oberfläche der Lagerhülse 1 anliegen, wirkt sich die Längenänderung der Aktoren 8 ausschließlich radial nach innen in Richtung des Spaltes 4 bzw. der Druckplatte 5 aus.

- Wie es in Figur 2b schematisch dargestellt ist, ist eine Steuerungseinrichtung
- 30 9 vorgesehen, die über Leitungsverbindungen mit den einzelnen Aktoren 8a-8f verbunden ist. Durch die Steuerungseinrichtung 9 werden die piezoelektrischen Aktoren 8a-8f nach einem vorgegebenen Schema oder

einer vorgegebenen Funktion angesteuert. Figur 3 zeigt ein einfaches Beispiel für den möglichen zeitlichen Verlauf der an die Aktoren 8a-8f angelegten Steuerspannungen.

Die Aktoren werden vorzugsweise paarweise periodisch angesteuert. Dabei
 5 werden die Aktorenpaare 8a+8d, 8b+8e und 8c+8f nacheinander jeweils für ein Drittel einer Periode T angesteuert.

Gemäß Figur 2a ziehen sich die Aktoren 8a+8d bei Anregung in radialer Richtung zusammen, so dass sich der an diese Aktoren angrenzende Spalt 4' verbreitet. Dadurch entsteht kurzzeitig ein Unterdruck im Medium 10, der
 10 dadurch kompensiert wird, dass das Medium in Richtung dieses Spaltabschnitts fließt. Wie in Figur 2b zu sehen ist, werden nun die Aktoren 8a+8d ausgeschaltet und die Aktoren 8b+8e angeregt, so dass das Medium zwangsläufig im Gegenuhrzeigersinn in Richtung der Aktoren 8b+8e fließt.
 15 Schließlich werden gemäß Figur 2c die Aktoren 8c+8f angeregt, so dass das Medium in Richtung dieses Spaltabschnitts fließt. Hier wiederholt sich der Zyklus mit der Aktivierung der Aktoren 8a+8d.

Infolge der abwechselnden Aktivierung der Aktorenpaare 8a+8d, 8b+8e und
 20 8c+8f werden im fluiden Medium 10 Druckunterschiede erzeugt, die sich in Form einer Wanderwelle fortsetzen, so dass das fluide Medium 10 im Lagerspalt 4' in eine kreisförmige Strömung versetzt wird. Die Strömungsenergie des fluiden Mediums im Spalt 4' wird auf die Druckplatte 5 übertragen und in mechanische Energie zurückgewandelt, die den Rotor,
 25 bestehend aus Druckplatte 5, Welle 2 und Nabe 7, in Rotation versetzt.

Um eine bessere Übertragung der Strömungsenergie des Mediums 10 auf die Druckplatte 5 zu erreichen, ist die Druckplatte 5 an ihrem Außenumfang vorzugsweise mit rippenartigen Vorsprüngen 12 versehen, die vom Medium
 30 umströmt werden. Diese Vorsprünge 12 setzen dem Medium einen Widerstand entgegen und wirken wie Schaufeln einer Turbine.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung werden für die Generierung einer Wanderwelle im Stator des Motors zwei stehende Wellen durch eine entsprechende Anordnung und Beschaltung von piezoelektrischen Aktoren angeregt. Zur Erläuterung des Prinzips ist in Figur 4 ein piezokeramischer Ring 13 dargestellt. Der Ring 13 ist auf seinem Umfang in zwei Anregungsbereiche 14, 15 unterteilt, von denen jeder eine stehende Welle erzeugt. Jeder Anregungsbereich 14, 15 beinhaltet beispielsweise acht piezoelektrische, segmentartige Aktoren 16, deren abwechselnde Polarisierungen durch unterschiedliche Vorzeichen „+“ bzw. „-“ gekennzeichnet sind. Die Bedingung für das Entstehen einer reinen Wanderwelle ist die Einhaltung der räumlichen und zeitlichen Phasenverschiebung von $\pi/2$ bzw. $T/4$. Die räumliche Phasendifferenz kann durch ein zusätzliches Zwischensegment 17 der Länge $\lambda/4$ zwischen den beiden Anregungsbereichen realisiert werden. Der Ring 13 wird bei der neunten Biegeeigenfrequenz betrieben. Auf dem Umfang befinden sich dementsprechend 9λ , weshalb ein zweites Zwischensegment 18 der Länge $3\lambda/4$ zwischen den beiden Anregungsbereichen 14, 15 erforderlich ist. Die erforderliche zeitliche Phasendifferenz von $T/4$ wird durch die unterschiedliche Ansteuerung der beiden Anregungsbereiche 14, 15 erzielt.

Wird z.B. der erste Anregungsbereich 14 mit einem Signal $U = \hat{U} \sin(\omega t)$ angeregt, erfüllt die Anregung des zweiten Anregungsbereich 15 mit einem Signal $U = \hat{U} \cos(\omega t)$ gerade die zeitliche Phasenbedingung. Durch Vertauschen der beiden Anregungssignale kann die Laufrichtung der Wanderwelle und damit die Drehrichtung des Motors umgeschaltet werden.

Das Zwischensegment der 17 Länge $\lambda/4$ kann gleichzeitig als Sensor zur Kontrolle des Schwingungszustandes dienen. Das andere Zwischensegment 18 der Länge $3\lambda/4$ ist nicht beschaltet.

Die in Figur 4 dargestellte ringförmige piezokeramischen Anordnung kann gleichermaßen als zylinderförmige Anordnung realisiert werden, die in einer Antriebseinheit gemäß Figur 5 verwendet werden kann.

Figur 5 zeigt eine Lagerhülse 19 als Teil eines hydrodynamischen Gleitlagers, in welche eine piezoelektrische Antriebseinheit integriert werden kann. Die

Lagerhülse kann beispielweise im Austausch für die in Figur 1 dargestellte Lagerhülse 1 verwendet werden.

Die Lagerhülse 19 umfasst entsprechend der in Figur 1 dargestellten Lagerhülse eine Bohrung zur Aufnahme einer Welle (nicht dargestellt) und eine erweiterte
 5 Bohrung zur Aufnahme einer an der Welle befestigten Druckplatte (nicht dargestellt). Entsprechend Figur 1 ist auch hier zwischen den Oberflächen von Welle, Druckplatte und Lagerhülse ein Lagerspalt vorhanden der mit einem Lagerfluid gefüllt ist. Die Begrenzung der erweiterten Bohrung wird durch einen zylinderförmigen Bund 20 mit geringer Wandstärke gebildet. Dieser Bund 20 dient
 10 als Träger und Resonanzkörper für einen zylinderförmigen piezokeramischen Ring 21, der am Außenumgang des Bundes befestigt wird. Die Segmentierung des Ringes 21 kann Figur 4 entsprechen.

Vorzugsweise liegt der piezokeramische Ring 21 nur auf der der Welle zugewandten Seite der Lagerbuchse 19 an. Bei Anregung der piezokeramischen
 15 Anordnung 21 entsprechend der oben beschriebenen Weise wird eine Wanderwelle erzeugt und auf den Bund 20 als zusätzlichen Resonator übertragen. Die Wanderwelle versetzt das zwischen dem Außenumfang der Druckplatte und dem Innenumfang des Bundes 20 befindliche Lagerfluid in eine gerichtete kreisförmige Bewegung. Die Strömungsenergie des Lagerfluids wird auf die
 20 Druckplatte übertragen, die dadurch in Rotation versetzt wird und die Welle drehend antreibt.

Weitere mögliche Ausgestaltungen von piezokeramischen Anordnungen 22, 23, 24 sind in den Figuren 6a, 6b und 6c dargestellt. Dabei sind die
 25 piezoelektrischen Aktoren jeweils auf dem Umfang eines angedeuteten Resonators 25 (vgl. Bund in Figur 5) angeordnet.

Die Anordnung 22 gemäß Figur 6a umfasst 12 piezoelektrische segmentartige Aktoren 26 die wechselweise in Dreiergruppen angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

30 Die Anordnung 23 gemäß Figur 6b umfasst 8 piezoelektrische Aktoren 27 die paarweise im Wechsel angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

Die Anordnung 24 gemäß Figur 6c umfasst 16 piezoelektrische Aktoren 28 die wechselweise in Vierergruppen angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

Liste der Bezugszeichen

| | | |
|----|----|--------------------------------------|
| | 1 | Lagerhülse, Stator |
| 5 | 2 | Welle |
| | 3 | Basisflansch |
| | 4 | Lagerspalt 4' |
| | 5 | Druckplatte |
| | 6 | Abdeckplatte |
| 10 | 7 | Nabe |
| | 8 | Piezoelektrische Aktoren (8a-8f) |
| | 9 | Steuerungseinrichtung |
| | 10 | Fluides Medium |
| | 11 | Rotationsachse |
| 15 | 12 | Vorsprünge |
| | 13 | Piezokeramischer Ring |
| | 14 | Anregungsbereich |
| | 15 | Anregungsbereich |
| 20 | 16 | Aktor, piezoelektrisch, segmentartig |
| | 17 | Zwischensegment |
| | 18 | Zwischensegment |
| | 19 | Lagerhülse, Stator |
| 25 | 20 | Bund |
| | 21 | Piezokeramischer Ring |
| | 22 | Piezokeramische Anordnung |
| | 23 | Piezokeramische Anordnung |
| | 24 | Piezokeramische Anordnung |
| 30 | 25 | Resonator |
| | 26 | Aktor, segmentartig |
| | 27 | Aktor, segmentartig |

- 28 Aktor, segmentartig
- 29 Trägermaterial
- 30 Piezoelektrisches Element
- 5 31 Piezoelektrisches Element

Minebea Co., Ltd., Japan

5 Patentansprüche

1. Piezoelektrische Antriebseinheit zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung, welche umfasst:
einen Stator (1), einen in Bezug auf den Stator um eine Rotationsachse (11) drehbar angeordneten Rotor (2; 5; 7) und Antriebselemente in Form von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren (8),
gekennzeichnet durch
einen mit einem fluiden Medium (10) gefüllten ringförmigen Spalt (4'), der zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators (1) und des Rotors (2; 5; 7) ausgebildet ist,
mehrere, an den Spalt angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren (8a-8f), die bei elektrischer Anregung nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale Längenänderung in Richtung des Spaltes (4') ausführen, derart, dass die abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf das fluide Medium übertragen wird, wobei die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird.
2. Piezoelektrische Antriebseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) entlang des Umfangs des Spaltes (4') angeordnet sind.
3. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (19) einen als Resonator wirkenden Bund (20) aufweist, der die äußere Begrenzung des Spaltes bildet, wobei am Außenumfang des Bundes (20) ein

piezokeramischer Ring (21; 22; 23; 24) angeordnet ist, der mehrere piezoelektrischen Aktoren (16; 26; 27; 28) umfasst.

- 5 4. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) in einer Ebene angeordnet sind.
- 10 5. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) segmentartig ausgebildet sind.
- 15 6. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil (5) des Rotors über seinen Umfang verteilt angeordnete, dem Spalt (4') zugewandte und von dem fluiden Medium umströmte rippenförmige Vorsprünge (12) aufweist.
- 20 7. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (2; 5; 7) mittels eines hydrodynamischen Lagersystems im Stator gelagert ist.
8. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Spalt (4') Teil des Lagerspaltes (4) des hydrodynamischen Lagers ist.
- 25 9. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie als Spindelmotor ausgebildet ist.
- 30 10. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie Teil eines Festplattenlaufwerks ist.

11. Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer einen Stator (1) und einen Rotor (2; 5; 7) umfassende Antriebseinheit, wobei als Antriebselemente vorzugsweise mehrere piezoelektrische Aktoren (8) verwendet werden,
 5 **dadurch gekennzeichnet,**
 dass die von den piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) abgegebene mechanische Energie in Strömungsenergie (hydrodynamische Energie) eines fluiden Mediums (10) gewandelt wird, und die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische
 10 Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das fluide Medium in einem im Wesentlichen ringförmigen Spalt (4') aufgenommen ist, wobei die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) derart angeordnet sind
 15 und angesteuert werden, dass sie eine definierte, gerichtete Strömung des fluiden Medium innerhalb des Spaltes (4') erzeugen, und der Rotor von der Strömung in Rotation versetzt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch
 20 gekennzeichnet, dass die Aktoren (16; 26; 27; 28) auf einen ringförmigen Resonator (20) wirken, und diesen derart zum Schwingen anregen, dass sich eine Wanderwelle ausbildet, deren mechanische Energie als Strömungsenergie auf das im Spalt befindliche fluide Medium übertragen wird.
 25
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömung im Spalt (4') quer zur Rotationsachse (11) der Antriebseinheit gerichtet ist.
- 30 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) nach einem vorgegebenen

Schema oder einer vorgegebenen Funktion elektrisch angesteuert werden.

- 5 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass in Bezug auf die Rotationsachse (11) gegenüberliegende piezoelektrischen Aktoren (8a+8d, 8b+8e, 8c+8f) paarweise angesteuert werden.

Minebea Co., Ltd., Japan

Zusammenfassung der Erfindung

5

Die Erfindung betrifft eine piezoelektrische Antriebseinheit und ein Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung. Die Antriebseinheit umfasst einen Stator, einen in Bezug auf den Stator um eine Rotationsachse drehbar angeordneten Rotor und Antriebselementen in Form von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren.

10

Erfindungsgemäß umfasst die Antriebseinheit ferner einen mit einem fluiden Medium gefüllten ringförmigen Spalt, der zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators und des Rotors ausgebildet ist, mehrere, an den Spalt angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren, die bei elektrischer

15

Anregung nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale Längenänderung in Richtung des Spaltes ausführen, derart, dass die abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf das fluide Medium übertragen wird, wobei die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in

20

eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors umgesetzt wird.

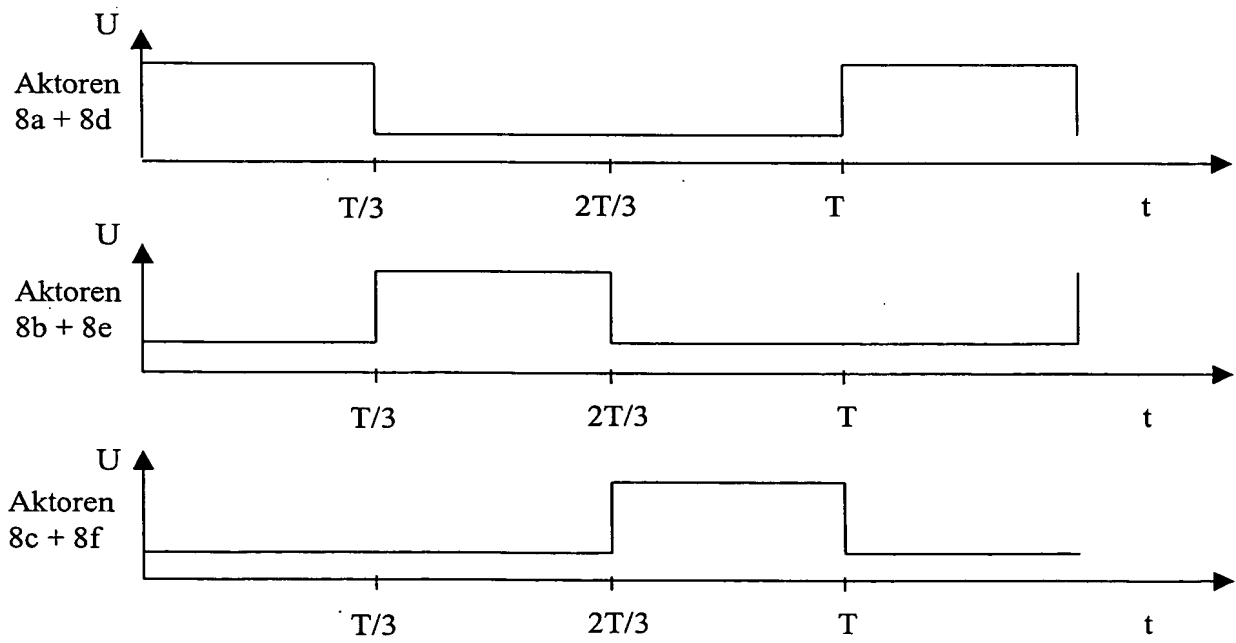
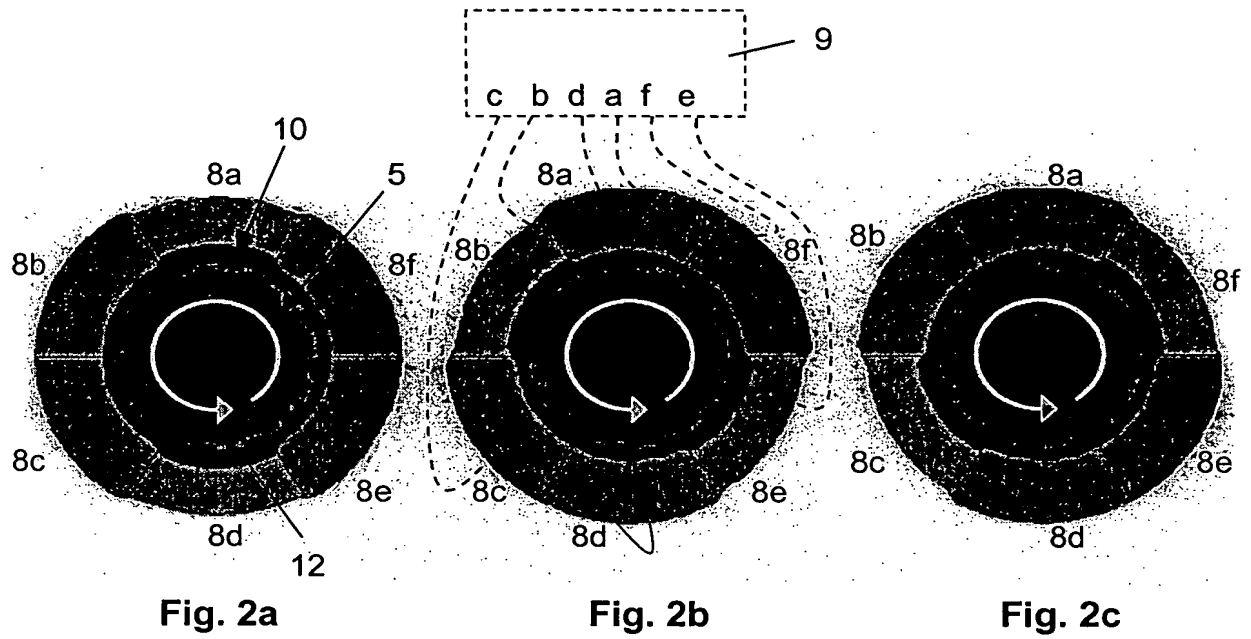


Fig. 3

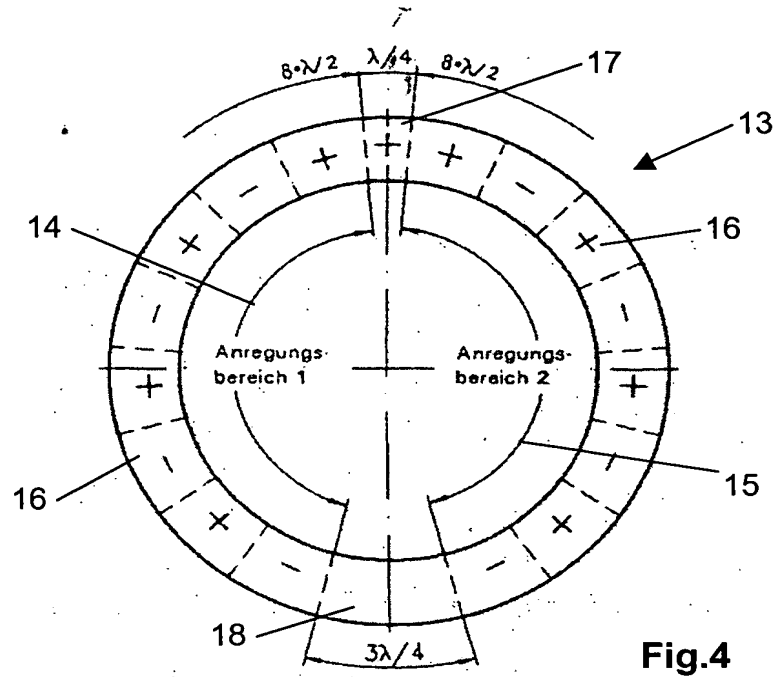


Fig. 4

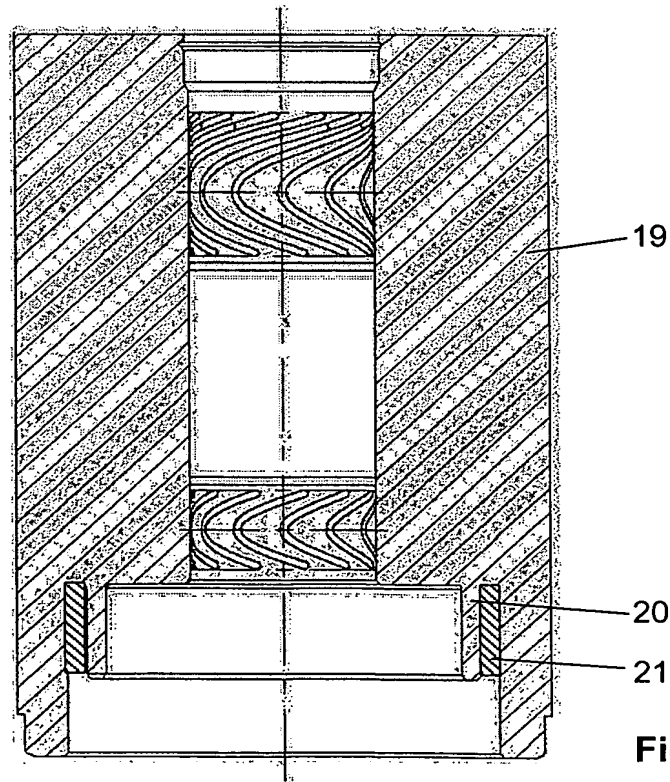


Fig. 5

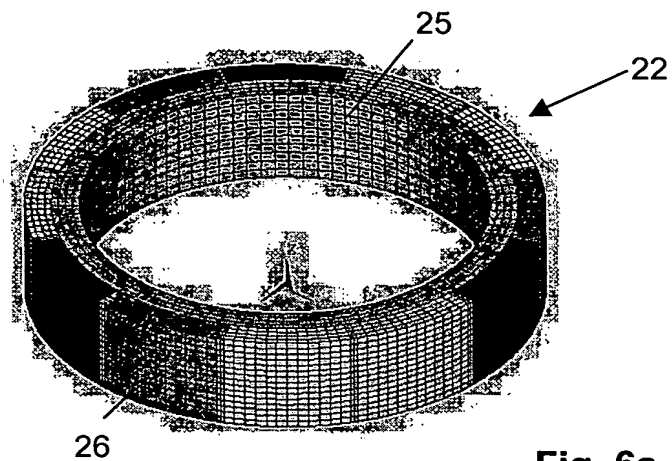


Fig. 6a

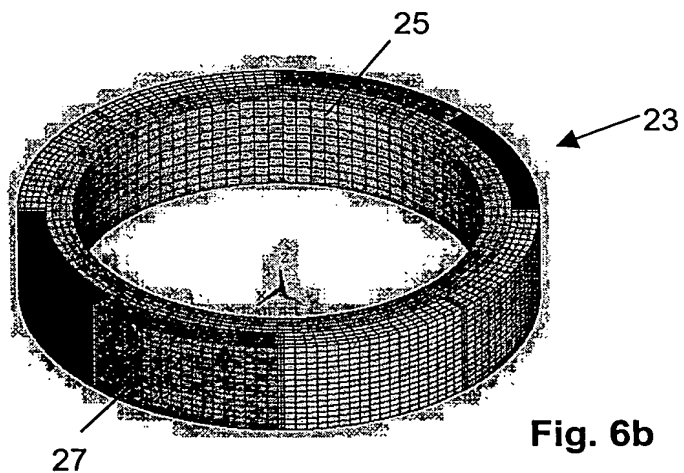


Fig. 6b

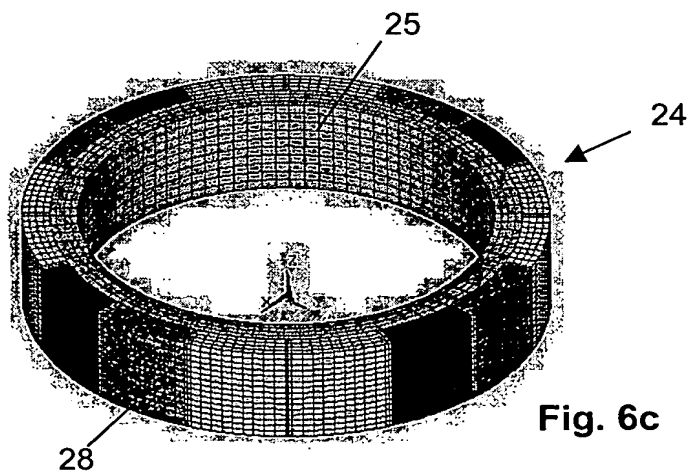


Fig. 6c

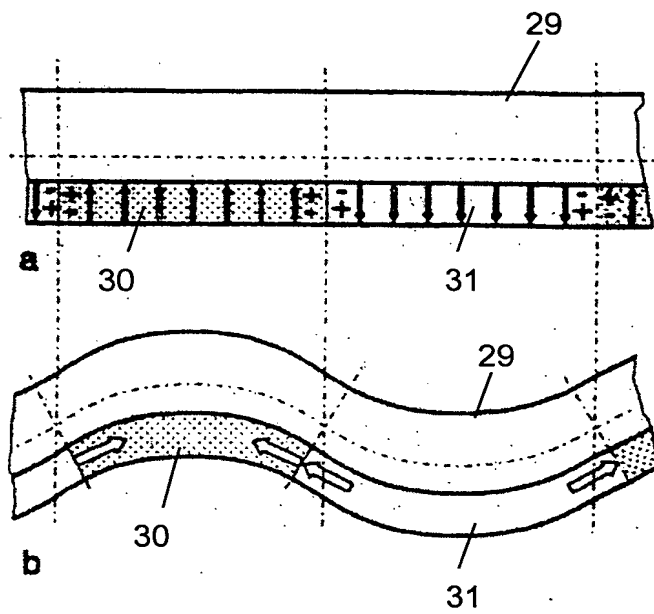


Fig. 7

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.